

Leistungsmessung der Atmungsmuskulatur vor und nach erschöpfender Ausdauerarbeit auf einem Fahrradergometer

Pfeiffer Rahel

Sportphysiologie ETH + UNI Zürich, Winterthurerstr. 190, CH-8057 Zürich, Schweiz

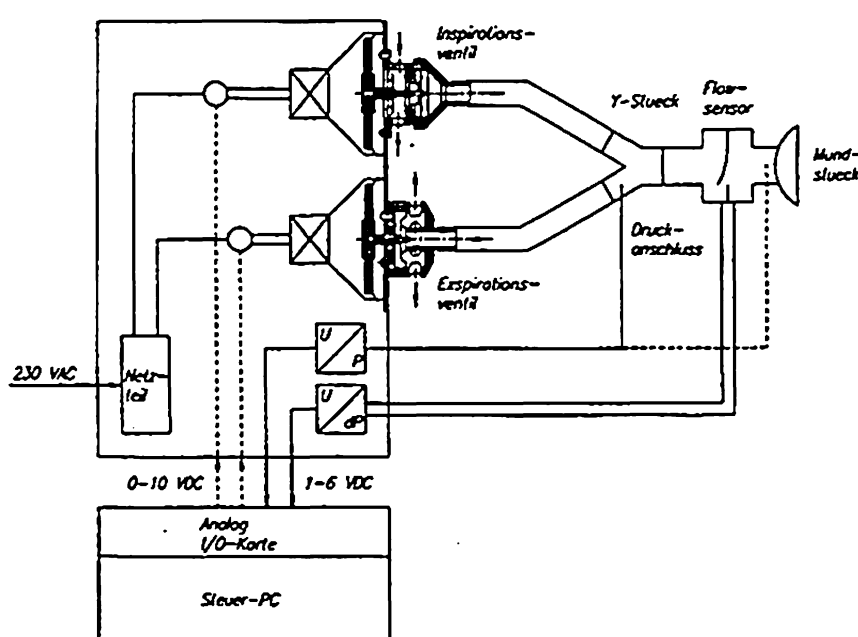
EINLEITUNG:

Bis jetzt ist es nur mit invasiven Techniken gelungen, eine Ermüdung des Diaphragmas nach erschöpfender Ausdauerarbeit zweifelsfrei nachzuweisen [1]. Die nichtinvasive Messung von Atmungsparametern wie inspiratorischer Munddruck (P_i), expiratorischer Munddruck (P_E), Vitalkapazität (VC), forcierte Vitalkapazität (FVC), 1-Sekundenkapazität (FEV_1), maximaler expiratorischer Fluss (PEF), Atemgrenzwert (MVV) oder maximale Atemminutenventilation (\dot{V}_E) über 12 min (SVC) vor und nach Ausdauerarbeit lieferte widersprüchliche Resultate. Ziel dieser Studie war es, die Ermüdung der gesamten Atmungsmuskulatur nach erschöpfender Ausdauerarbeit mit einer neuen, nichtinvasiven Methode, dem Atmungs-ausdauer-test (AAT) am Atmungsleistungsmessgerät (ALM), nachzuweisen. Im AAT muss der Proband, um genügend Luft zu erhalten, bei jeder Inspiration einen Unterdruck erzeugen, der einem gewissen Prozentsatz seines maximalen P_i entspricht. Der Proband atmet bis zur task failure, d.h., bis er den geforderten Unterdruck nicht mehr erzeugen kann und folglich den Test abbrechen muss. Task failure am ALM vor und nach erschöpfender Ausdauerarbeit wird verglichen mit den oben erwähnten konventionellen nichtinvasiven Atmungsparametern.

METHODEN:

Probanden: Als Probanden dienten 12 gesunde, trainierte Personen.

Testapparatur: Der AAT fand am ALM (Tecuria, Chur, Schweiz) statt. Das gesamte System besteht aus einem Steuer-PC, dem ALM mit elektrisch gesteuerten Ventilen sowie Druck- und Flusssensoren (Figur 1).



Figur 1: Schematische Darstellung des ALM.

Die Signale der Sensoren werden im PC ausgewertet und weiterverrechnet. Der Proband wird über ein Schlauchsystem mit den Ventilen verbunden. Der Unterdruck, welchen der Proband erzeugen muss, um das Inspirationsventil zu öffnen und adäquaten Fluss zu erzeugen, kann durch Veränderung der Steuerspannung reguliert werden. Die Steuerspannung bewirkt, dass ein proportionaler Strom durch die Spule des Ventils fließt und ein entsprechendes Magnetfeld erzeugt, welches den Öffnungsgrad des Ventils bestimmt. Mit einer maximalen In- oder Expiration gegen das vollständig verschlossene Ventil lassen sich am ALM auch Maximaldrücke messen. Die Spirometrieparameter sowie SVC wurden mit einem automatischen Ergospirometrie-gerät, dem Oxycon Beta (mijnhardt, Bunnik, Niederlande), gemessen. Mit demselben Gerät wurden auch die Atmungsparameter während dem Fahrradausdauer-test (FAT) auf einem Fahrradergometer überwacht.

Versuchsprotokolle:

1. Vorversuche: Zur Ermittlung der Intensität des FATs wurde ein Stufentest auf dem Fahrradergometer durchgeführt. Ein weiterer Vorversuch diente der Bestimmung der Grösse des Unterdrucks, welchen der Proband während dem AAT erzeugen musste. Im ALM-Doppelversuch wurden 2 AATs am ALM mit 15 min Pause dazwischen gemacht.

2. Hauptversuche: An verschiedenen Tagen absolvierten die Probanden drei Hauptversuche in randomisierter Reihenfolge, welche alle nach folgendem Schema abliefen: Zuerst wurde ein Test zur Prüfung der Atmungsmuskulatur gemacht (t_0). Je nach Versuch war dies a) der AAT am ALM, b) Messung von P_i , P_E , sowie Spirometrie oder c) SVC. Nach 15 min Pause folgte der FAT, in welchem die Probanden bei der im Stufentest ermittelten Intensität bis zur Erschöpfung führen. 5 min (t_5), 40 min (t_{40}) und 75 min (t_{75}) nach Abbruch des FATs wurde derselbe Test zur Prüfung der Atmungsmuskulatur wiederholt.

a) AAT am ALM vor und nach FAT (FAT ALM): Während dem AAT am ALM musste der Proband bei jeder Inspiration den im Vortest ermittelten Unterdruck, der einem bestimmten Prozentsatz seines maximalen P_i entsprach, erzeugen. Wenn dieser Unterdruck nicht mehr erzeugt werden konnte, wurde kein adäquater Fluss mehr erreicht und der Test musste abgebrochen werden. Während dem Test wurde das Atmungsmuster konstant gehalten. Als Mass für die Leistungsfähigkeit der Atmungsmuskulatur wurde die Dauer des Tests bis zur task failure ($t_{\text{task failure}}$) gemessen.

b) P_i , P_E und Spirometrie vor und nach FAT (FAT Spiro): P_i und P_E wurden am ALM mit einer maximalen In- oder Expiration gemessen. Danach wurden VC, eine maximale Fluss-Volumenkurve, aus welcher FVC,

FEV₁ und PEF berechnet wurden, und MVV aufgezeichnet.

c) SVC vor und nach FAT (FAT SVC): Die Probanden mussten während 12 min \dot{V}_E so hoch wie möglich halten. Normokapnie wurde durch partielle Rückatmung der Ausatemungsluft aus einem Beutel gewahrt.

Statistik: Alle Werte sind als Mittelwerte \pm Standardabweichung angegeben (n=12). Die Werte wurden mit dem Wilcoxon-Test für Paardifferenzen zweiseitig auf Signifikanz geprüft. Bei der Auswertung der Haupttests wurden jeweils t₅, t₄₀ und t₇₅ einzeln mit t₀ getestet. Das Signifikanzniveau wurde auf 5% festgelegt.

RESULTATE:

ALM-Doppelversuch: t_{task failure} im 1. und 2. AAT war nicht signifikant unterschiedlich (390 \pm 141 vs. 388 \pm 118 s).

FAT: Die Dauer der FATs war nicht unterschiedlich (FAT ALM=25:44 \pm 6:33 min, FAT Spiro=26:01 \pm 9:47 min, FAT SVC=25:30 \pm 6:39 min). O₂-Aufnahme, \dot{V}_E , Atemfrequenz (f_r) und Herzfrequenz (f_c) während der letzten Minute der FATs waren nicht unterschiedlich (Tabelle 1).

	FAT ALM	FAT Spiro	FAT SVC
O ₂ -Aufnahme [ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹]	50.9 \pm 10.1	49.8 \pm 9.1	49.2 \pm 9.8
\dot{V}_E [l·min ⁻¹]	123.0 \pm 18.9	117.4 \pm 19.6	119.3 \pm 19.3
f _r [min ⁻¹]	51.4 \pm 10.8	49.8 \pm 10.6	50.0 \pm 10.4
f _c [min ⁻¹]	174 \pm 11	173 \pm 13	172 \pm 11

Tabelle 1: O₂-Aufnahme, \dot{V}_E , f_r und f_c während der letzten Minute der FATs (n=12).

Hauptversuche: Die Resultate der Hauptversuche sind in Tabelle 2 zusammengefasst. t_{task failure} war 5 min nach FAT signifikant reduziert gegenüber dem Kontrollwert (P<0.001). P_i war 40 min nach FAT signifikant kleiner als vor FAT (P<0.05). \dot{V}_E im SVC war 5 und 75 min nach FAT signifikant kleiner als der Kontrollwert (P<0.05).

Während dem AAT am ALM mussten die Probanden einen Zielunterdruck von 79.2 \pm 8.5% des maximalen P_i erzeugen. Der erreichte Unterdruck war: t₀=78.8 \pm 8.6, t₅=79.0 \pm 8.5, t₄₀=78.5 \pm 8.8 und t₇₅=79.0 \pm 8.8% des maximalen P_i. Die Werte waren nicht signifikant unterschiedlich zum Zielwert.

DISKUSSION:

Das deutlichste Resultat ist die Reduktion von t_{task failure} im AAT am ALM 5 min nach FAT. Diese Reduktion von t_{task failure} in AAT t₅ ist nicht durch eine Ermüdung der Atmungsmuskulatur während AAT t₀ beeinflusst, da der ALM-Doppelversuch zeigt, dass sich die Atmungsmuskulatur innert 15 min von einem AAT erholt. Im Gegensatz zur hochsignifikanten Reduktion von t_{task failure} erreichen die Abnahmen von P_i 40 min nach FAT und SVC 5 und 75 min nach FAT nur knapp das Signifikanzniveau. Die restlichen Parameter bleiben nach FAT unverändert. Das Muster der Erholung von t_{task failure} nach FAT entspricht dem Erholungsmuster, das man bei einer Ermüdung der Atmungsmuskulatur erwarten würde. Die Abnahmen von P_i und SVC jedoch entsprechen diesem Muster nicht. Da die Dauer der drei FATs dieselbe war und auch dieselben Werte während der letzten Minute erreicht wurden, sollte aber der Grad der Ermüdung der Atmungsmuskulatur nach jedem FAT derselbe sein. Ein Vergleich zeigt, dass mit dem AAT am ALM eine Abnahme der Leistungsfähigkeit der Atmungsmuskulatur gezeigt wird, während die konventionellen, nichtinvasiven Atmungsparameter nicht oder nur ungenügend dazu geeignet sind. Der AAT am ALM ist also den anderen nichtinvasiven Methoden für den Nachweis einer Ermüdung der Atmungsmuskulatur nach Ausdauerarbeit überlegen, ohne dass wir schon wissen, weshalb das so ist.

LITERATUR:

[1] B.D. Johnson et al.; J. Physiol. (Lond.) 460, 385 (1993)

	t ₀	t ₅	t ₄₀	t ₇₅
t _{task failure} am ALM [s]	364 \pm 88	219 \pm 122***	346 \pm 135	370 \pm 119
P _i [cmH ₂ O]	173 \pm 25	170 \pm 22	164 \pm 22*	169 \pm 18
P _E [cmH ₂ O]	201 \pm 27	195 \pm 38	192 \pm 38	193 \pm 37
VC [l]	5.72 \pm 0.89	5.74 \pm 0.93	5.72 \pm 0.92	5.78 \pm 0.92
FVC [l]	5.58 \pm 0.84	5.56 \pm 0.82	5.49 \pm 0.77	5.51 \pm 0.80
FEV ₁ [l]	4.55 \pm 0.76	4.60 \pm 0.73	4.53 \pm 0.69	4.49 \pm 0.71
PEF [l·s ⁻¹]	9.9 \pm 2.1	9.6 \pm 1.9	9.7 \pm 2.1	9.5 \pm 1.9
MVV [l·min ⁻¹]	188 \pm 31	190 \pm 33	188 \pm 33	183 \pm 34
\dot{V}_E während SVC [l·min ⁻¹]	141 \pm 22	139 \pm 21*	136 \pm 17	136 \pm 19*

Tabelle 2: t_{task failure}, P_i, P_E, Spirometriewerte und SVC vor und nach FAT (n=12). Signifikanter Unterschied zu t₀: *P<0.05, ***P<0.001.